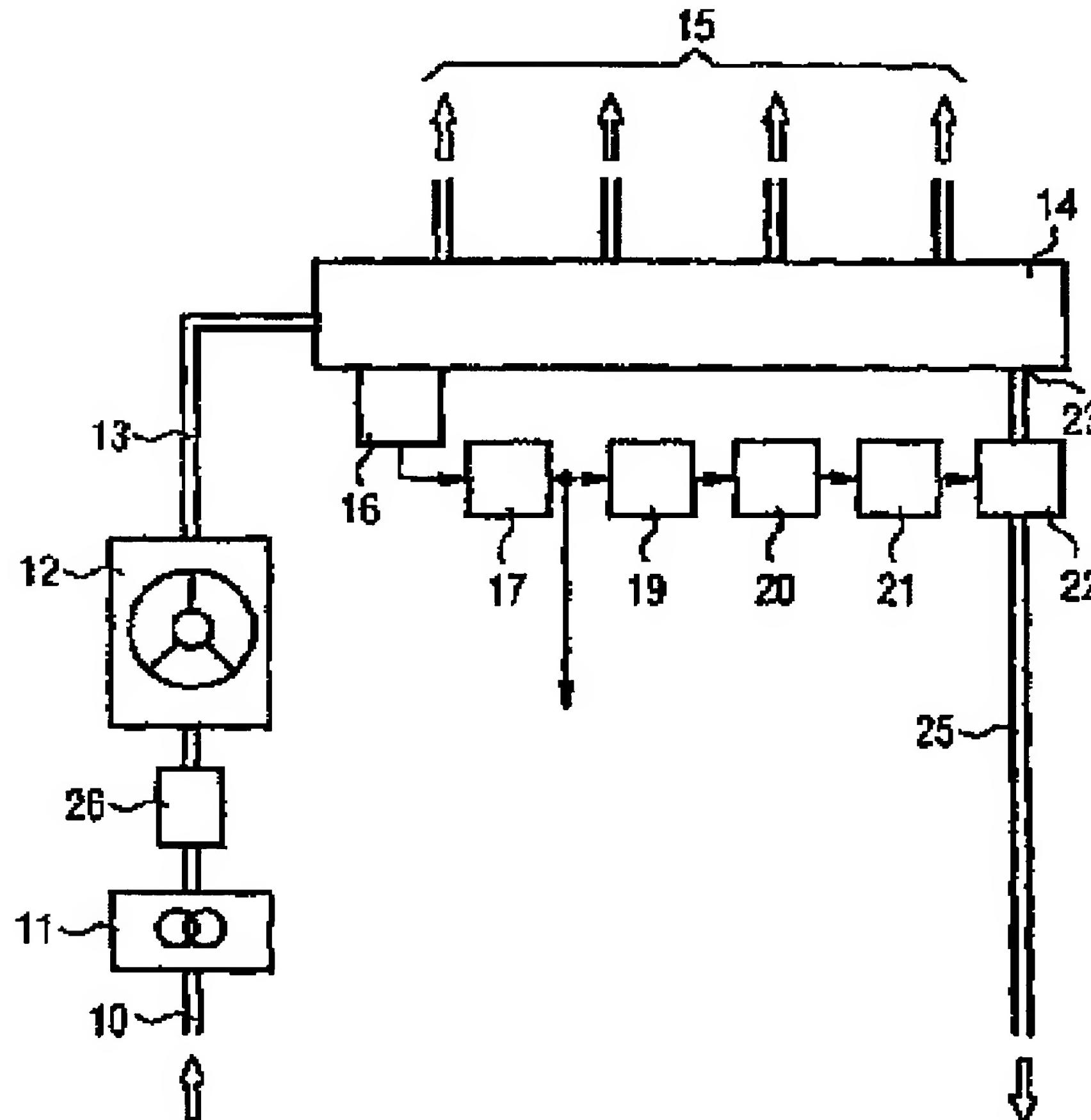


AN: PAT 2001-410035  
TI: Detecting failure in pressure system of IC engine fuel injection system monitoring periodicity of recorded pressure signal for sharp deviations in amplitude or uniformity  
PN: DE19946506-C1  
PD: 19.07.2001  
AB: The fuel injection system includes a fuel pressure accumulator whose pressure is regulated via a control circuit with a pressure measuring device (16,17). For observation purposes, the measured pressure in the pressure accumulator is recorded w.r.t. time to show periodic pressure fluctuations caused by the periodic operation of the injectors and/or the sequence of piston strokes of a high pressure pump (12). An indication of failure is given if the periodicity of the recorded pressure signal with regard to the amplitude and/or uniformity of the fluctuations deviates sharply from a pattern representing the correct operation of the system.; USE - For common rail fuel injection systems. ADVANTAGE - Detects errors not detectable with conventional methods.  
PA: (SIEI ) SIEMENS AG;  
IN: BOEHNIG R; FIEDLER S; PHILIPPI U;  
FA: DE19946506-C1 19.07.2001;  
CO: DE;  
IC: F02D-041/22; F02D-041/38; F02M-037/04;  
MC: S02-F04D3A; S02-J01A; X22-A02A; X22-A05A;  
DC: Q52; Q53; S02; X22;  
FN: 2001410035.gif  
PR: DE1046506 28.09.1999;  
FP: 19.07.2001  
UP: 09.08.2001



COOY P78156

36



⑯ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

# Patentschrift

## DE 199 46 506 C 1

⑮ Int. Cl. 7:  
**F 02 D 41/22**  
F 02 D 41/38  
F 02 M 37/04

⑯ Aktenzeichen: 199 46 506.1-26  
⑯ Anmeldetag: 28. 9. 1999  
⑯ Offenlegungstag: -  
⑯ Veröffentlichungstag der Patenterteilung: 19. 7. 2001

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑯ Patentinhaber:  
Siemens AG, 80333 München, DE

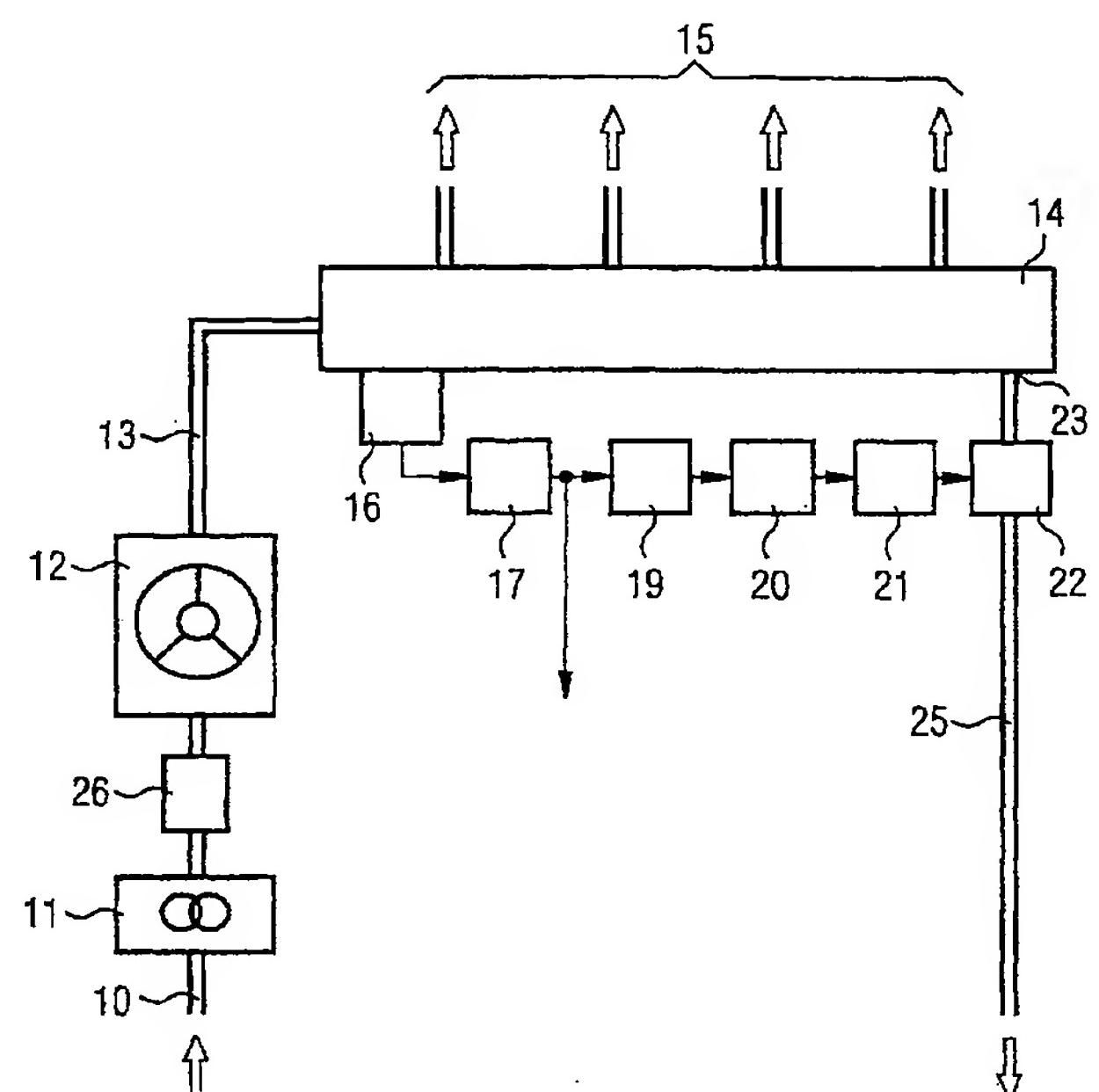
⑯ Erfinder:  
Philippi, Udo, 93049 Regensburg, DE; Böhnig, Ralf, 93073 Neutraubling, DE; Fiedler, Stefan, 93059 Regensburg, DE

⑯ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 197 40 608 A1  
DE 195 20 300 A1

⑯ Verfahren zum Erkennen von Fehlfunktionen im Drucksystem einer an einem Verbrennungsmotor zu verwendenden Kraftstoff-Einspritzanlage

⑯ Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren zum Erkennen von Fehlfunktionen im Drucksystem einer an einem Verbrennungsmotor zu verwendenden Kraftstoff-Einspritzanlage, die einen aus einer Hochdruckpumpe gespeisten Kraftstoff-Druckspeicher mit Auslässen zur Versorgung mehrerer Kraftstoffinjektoren und einen den Speicherdruck regelnden Regelkreis mit einer Meßeinrichtung enthält, die ein für den Istwert des Speicherdrucks repräsentatives Druckmeßsignal liefert. Erfindungsgemäß wird das Druckmeßsignal für Beobachtungszwecke mit einer zeitlichen Auflösung registriert, welche die periodischen Druckschwankungen abbildet, die sich durch das periodische Betätigen der Injektoren und/oder durch aufeinanderfolgende Kolbenhube der Hochdruckpumpe ergeben. Es wird eine Fehlermeldung gegeben, wenn die Periodizität des so registrierten Druckmeßsignals hinsichtlich der Amplitude und/oder Gleichförmigkeit der Schwankungen deutlich von dem Muster abweicht, das bei fehlerfreiem Betrieb des Systems zu erwarten ist.



DE 199 46 506 C 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Erkennen von Fehlfunktionen im Drucksystem einer Kraftstoff-Einspritzanlage gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Neuere Kraftstoff-Einspritzanlagen für Verbrennungsmotoren arbeiten mit einem Hochdruckspeicher als gemeinsamer Quelle ("Common Rail") für den Einspritzdruck. Der Speicherdruck wird mittels einer Hochdruckpumpe, meist einer Radialkolbenpumpe, erzeugt, und die Druckregelung erfolgt durch geregeltes Öffnen und Schließen eines vom Speicher zum Tank rückleitenden Entlastungsventils (Druckregelventil). Der hierzu verwendete Regelkreis enthält eine Messeinrichtung, die ein für den Istwert des Speicherdrucks repräsentatives Messsignal liefert, um Abweichungen gegenüber dem Solldruck festzustellen und über eine Regelstrecke den Durchfluss am besagten Ventil im Sinne einer Ausregelung der Abweichungen zu beeinflussen.

Bei einer Common-Rail-Einspritzanlage muss die Messung und Regelung des Kraftstoffdrucks sicher und genau erfolgen. Eine zu große Abweichung des Drucks vom Sollwert, etwa bedingt durch fehlerhafte Messung oder durch Fehlfunktion der Hochdruckpumpe, kann eine Zerstörung der Einspritzanlage und des Verbrennungsmotors zur Folge haben. Deshalb ist es wünschenswert, Fehler im Betrieb des Drucksystems schnell und sicher zu detektieren.

Bisherige Überwachungsverfahren arbeiten mit einer Bereichsabfrage und Gradientenüberprüfung des Druckmesssignals. Der gesamte Signalbereich wird aufgeteilt in einen unteren Diagnosebereich, den nominellen Arbeitsbereich und einen oberen Diagnosebereich. Liegt das Messsignal innerhalb des nominalen Arbeitsbereichs, so wird es hinsichtlich der Bereichsabfrage als gültig erkannt. Die Gradientenüberprüfung überwacht die Änderungsrate des Druckmesssignals; ist sie höher als ein Schwellenwert, dann wird auf das Vorliegen eines Fehlers erkannt. Mit dieser Strategie ist es nicht möglich, Fehler im Meßsystem selbst zu erkennen, etwa einen Fehler, der zum Verharren des Druckmesssignals auf einem konstanten Pegel innerhalb des gültigen Arbeitsbereichs führt. Ebenso wenig möglich ist die sichere Erkennung von Normabweichungen im Betrieb der Hochdruckpumpe, etwa der Beginn eines alterungsbedingten Nachlassens der Förderleistung. Solche Fehlfunktionen führen zumindest im Anfangsstadium nicht immer dazu, dass das Druckmesssignal den nominalen Arbeitsbereich verlässt, da ihre Wirkung auf den Speicherdruck vom Regelkreis kompensiert wird; dennoch ist ein rechtzeitiges Erkennen wünschenswert, um Schlimmerem durch rechtzeitige Gegenmaßnahmen vorbeugen zu können.

Aus der DE 197 40 608 A1 ist ein Verfahren zur Bestimmung wenigstens einer kraftstoffeinspritzbezogenen Kenngröße für einen Verbrennungsmotor, der über eine Kraftstoffeinspritzanlage mit einem Hochdruckspeicher verfügt, bekannt. Mit Hilfe eines Drucksensors wird dabei permanent der Druckverlauf in dem Hochdruckspeicher gemessen und daraus ein zugehöriges Druckverlaufsmuster gewonnen. Dieses Druckverlaufsmuster kann dazu dienen, für jeden Brennraum und jeden Einspritzvorgang eine oder mehrere Kenngrößen zu deren Steuerung zu bestimmen. Dazu wird das Druckverlaufsmuster mit einem Verfahren zur Mustererkennung analysiert und die Kenngrößen festgestellt. Das Verfahren eignet sich auch dazu, größere Defekte wie beispielsweise den Ausfall eines Injektors zu diagnostizieren und den ausgefallenen Injektor zu ermitteln. Weiterhin kann festgestellt werden, ob ein Leck in der Einspritzanlage vorliegt. Weiterhin ist aus der DE 195 20 300 A1 ein Verfahren bekannt, mit dem ein Leck in einem Kraftstoffversorgungs-

system einer Brennkraftmaschine erkannt werden kann. Hierbei wird bei geschlossenen Injektoren und geschlossenem Ventil in der Zuleitung zu den Injektoren der Druckanstieg aufgrund der Kraftstoffförderung der Hochdruckpumpe mit einem zu erwartenden Druckanstieg verglichen.

Auf ein Leck wird dann geschlossen, wenn der Druckanstieg nicht in einem zu erwartenden Bereich liegt.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein einfaches und kostengünstiges Verfahren zur Verfügung zu stellen, in dem alle wesentlichen Fehlfunktionen im Drucksystem einer Kraftstoffeinspritzanlage erkannt und angezeigt werden, insbesondere auch Fehlfunktionen der Druckmesseinrichtung und des Pumpsystems.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die im Patentanspruch 1 angegebenen Merkmale gelöst. Besondere Ausführungsformen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet.

Mit der Erfindung wird die Tatsache ausgenutzt, dass bei Drucksystemen für Common-Rail-Einspritzanlagen im störungsfreien Betrieb immer periodische Schwankungen des Speicherdrucks auftreten, bedingt durch den zyklischen Betrieb der Injektoren und, im Falle einer Kolbenpumpe, auch bedingt durch die Kolbenhub. Besagte Druckschwankungen haben nicht nur eine bekannte Frequenz bzw. Periodendauer, die von der momentanen Motordrehzahl abhängt, sondern zeigen auch ein charakteristisches Muster hinsichtlich Amplitude, Phase und Gleichmäßigkeit der einzelnen Ausschläge. Der Erfindungsgedanke besteht darin, diese Charakteristik zur Fehlerkennung auszuwerten.

Dementsprechend ist das Verfahren, bei dem das Druckmesssignal für Beobachtungszwecke mit einer zeitlichen Auflösung registriert wird, welche die periodischen Druckschwankungen abbildet, die sich durch das periodische Betätigen der Injektoren und/oder durch aufeinanderfolgende Kolbenhub der Hochdruckpumpe ergeben, und bei dem eine Fehlermeldung gegeben wird, wenn die Periodizität des so registrierten Druckmesssignals hinsichtlich der Amplitude und/oder Gleichförmigkeit der Schwankungen deutlich von dem Muster abweicht, das bei fehlerfreiem Betrieb des Systems zu erwarten ist, erfindungsgemäß dadurch gekennzeichnet, dass eine Registrierung des hochauflösten Druckmesssignals periodisch in aufeinanderfolgenden Beobachtungsintervallen erfolgt, deren jedes zumindest eine volle Periode der im fehlerfreien Betrieb des Systems auftretenden periodischen Schwankungen dieses Signals umfasst. Hierbei wird ermittelt, wie groß die Differenz zwischen dem maximalen und dem minimalen Wert des Druckmesssignals innerhalb eines oder mehrerer Beobachtungsintervalle ist. Eine Fehlermeldung wird gegeben, wenn die ermittelte Differenz deutlich kleiner ist als die sich bei fehlerfreiem Betrieb ergebende Differenz.

Das Druckmesssignal wird mit einer zeitlichen Auflösung genutzt, welche die inhärenten normalen periodischen Schwankungen des Speicherdrucks abbildet. Da diese Schwankungen relativ hochfrequent sind und amplitudemäßig in relativ engen Grenzen bleiben, brauchen sie vom Regelkreis nicht kompensiert zu werden. Für den Common-Rail-Betrieb genügt es daher, die Zeitkonstante der Regelung wesentlich größer als die Periodendauer der besagten Schwankungen zu bemessen.

Diese Verfahrensstrategie erlaubt es, Fehler zu erkennen, die mit bisher bekannten Strategien unerkannt blieben. Hierzu zählen Fehler in der Druckmesseinrichtung, die dazu führen, dass das Druckmessignal auf einem konstanten Wert innerhalb des Regelungsbereichs verharrt, ohne auf den wirklichen Speicherdruck zu reagieren.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren lassen sich auch frühzeitig Ausfälle oder Alterungsscheinungen der Hoch-

druckpumpe erfassen. Die absolute Höhe der durch die Kolbenhübe der Hochdruckpumpe bedingten Pulsation des Druckmesssignals und die zeitliche Veränderung ist ein Maß für den Alterungszustand der Hochdruckpumpe. Vorzugsweise wird zur diesbezüglichen Diagnose das Drucksystem ohne Betätigung der Injektoren betrieben, und die Dauer jedes Beobachtungsintervalls ist mindestens gleich der Periode des Taktes aufeinanderfolgender Kolbenhübe der Hochdruckpumpe.

In ähnlicher Weise, wie es vorstehend für die Diagnose der Hochdruckpumpe beschrieben ist, können durch entsprechende Abstimmung der Beobachtungsintervalle auf den Einspritztakt auch Funktionsstörungen bzw. Unregelmäßigkeiten der Injektoren erkannt werden.

Ein erfindungsgemäßes Verfahren lässt sich auch so gestalten, dass Ungleichförmigkeiten in der Förderleistung der verschiedenen Pumpenkolben erkannt werden. Zur diesbezüglichen Diagnose einer Hochdruckpumpe mit n Kolben wird die Dauer jedes Beobachtungsintervalls gleich der Periode des Taktes aufeinanderfolgender Kolbenhübe der Hochdruckpumpe bemessen. Die Registrierung des Druckmesssignals erfolgt über mindestens n aufeinanderfolgende Beobachtungsintervalle, und zwar unter derartiger Synchronisierung mit dem Lauf der Hochdruckpumpe, dass jedes Beobachtungsintervall ein dem betreffenden Kolben zugeordnetes Segment des Druckmesssignals beinhaltet. Die Segmente werden miteinander verglichen, und es wird eine Fehlermeldung gegeben, wenn im Druckmesssignal eine über ein tolerierbares Maß hinausgehende Abweichung zwischen aufeinanderfolgenden Segmenten gefühlt wird.

Die Erfindung wird nachstehend an Ausführungsbeispielen anhand von Zeichnungen näher erläutert.

**Fig. 1** zeigt stark vereinfacht den grundlegenden Aufbau einer Common-Rail-Einspritzanlage für einen Verbrennungsmotor.

**Fig. 2** zeigt in hoher zeitlicher Auflösung die periodischen Schwankungen des Druckmesssignals, wie es am Druckspeicher der in **Fig. 1** gezeigten Anlage bei laufendem Einspritzbetrieb erhalten wird.

**Fig. 3** zeigt schematisch die Schwankungen des Druckmesssignals ohne Einspritzbetrieb und im Falle gleichförmiger Förderleistung der Hochdruckpumpe.

**Fig. 4** zeigt, wie sich der Signalverlauf nach **Fig. 3** im Falle ungleichförmiger Pumpenförderung ändert.

In der Einspritzanlage nach **Fig. 1** wird mittels einer Niederdruckpumpe 11, die vorzugsweise eine Zahnradpumpe ist, über eine Fluidleitung 10 Kraftstoff wie z. B. Dieselöl aus einem (nicht gezeigten) Tank gefördert und dann einer Hochdruckpumpe 12 zugeführt. Die Hochdruckpumpe 12 ist üblicherweise eine Radialkolbenpumpe mit mehreren sternförmig angeordneten Zylindern, in denen Verdichterkolben zyklisch durch einen umlaufenden Exzenter angetrieben werden. Die Welle der Hochdruckpumpe 12 wird ihrerseits von der Kurbelwelle des mit der Einspritzanlage arbeitenden Dieselmotors (nicht gezeigt) angetrieben, vorzugsweise über ein Untersetzungsgetriebe.

Die Hochdruckpumpe 12 speist über eine Fluidleitung 13 einen Hochdruckspeicher ("Rail") 14, bei dem es sich üblicherweise um ein Gefäß aus Gusseisen handelt, um den erforderlichen hohen Speicherdruck in der Größenordnung von 1800 bar auszuhalten. Auslässe 15 des Hochdruckspeichers 14 führen zu Kraftstoffinjektoren (nicht gezeigt) am Verbrennungsmotor, die zyklisch in geeigneter Weise angesteuert werden, synchronisiert mit der Kurbelwellendrehung des Motors, um den Kraftstoff zu geeigneten Zeitpunkten und in jeweils geeigneter Menge unter hohem Druck in die Zylinder des Motors einzuspritzen. Die Injektorsteuerung erfolgt abhängig von verschiedenen Betriebsparametern des

Motors und von Steuervorgaben wie etwa der Stellung des Gaspedals eines den Motor enthaltenen Kraftfahrzeugs.

Um den Fluideindruck im Hochdruckspeicher 14 auf dem vorgeschriebenen Pegel zu halten, ist ein Regelkreis vorgesehen, der einen Drucksensor 16 mit nachgeschaltetem Messumformer 17 enthält, der ein für den Istdruck des Hochdruckspeichers 14 repräsentatives Druckmesssignal erzeugt, etwa eine elektrische Spannung. Im vorliegenden Fall ist diese Messkette 16, 17 so ausgebildet, dass das Druckmesssignal mit einer hohen Zeit- und Messwertauflösung erhalten wird, um sämtliche Druckschwankungen im Speicher 14 erkennbar anzuzeigen, auch die relativ hochfrequenten und mit relativ niedriger Amplitude auftretenden Oszillationen, die durch die einzelnen Kolbenhübe der Hochdruckpumpe 12 und die zyklische Betätigung der Injektoren verursacht werden.

Zum Zwecke der Druckregelung wird das Druckmessignal tiefpassgefiltert, z. B. in einem Mittelwertbildner 19, der den Mittelwert über eine halbe Kurbelwellenumdrehung des Motors bildet. Das gemittelte Druckmesssignal wird in einem Vergleicher 20 mit einem Sollwert verglichen, der dem gewünschten Speicherdruck entspricht. Das die Sollwert-Istwert-Differenz anzeigen Regelabweichungssignal steuert über eine Stelleinrichtung 21 ein Druckregelventil 22 im Sinne einer Minimierung der Regelabweichung.

Das Druckregelventil 22 verbindet einen gesonderten Auslass 23 des Hochdruckspeichers 14 mit einer zum Tank führenden Rücklaufleitung 25. Die Stelleinrichtung 21 kann Mittel zur Erzeugung eines mit fester, relativ hoher Frequenz von z. B. 350 Hz oszillierenden Signals zum periodischen Drosseln des Ventils 22 enthalten, was vorzugsweise durch Beaufschlagung eines Solenoids erfolgt, welches eine Federvorspannung des Ventilkörpers beeinflusst. Dieses Signal wird vom Regelabweichungssignal pulsbreitenmoduliert, derart dass das Tastverhältnis der Drosselung und somit die mittlere Durchflussmenge im Sinne einer Reduzierung der Regelabweichung variiert wird.

Als adaptive Vorsteuerung kann an der Hochdruckpumpe 12 ein Volumenstromregelventil 26 vorgesehen sein, welches das Ansaugvolumen der Hochdruckpumpe abhängig von den Steuervorgaben für den Motorbetrieb steuert.

Erfindungsgemäß werden charakteristische Merkmale von Schwankungen in dem vom Messumformer 17 gelieferten hochaufgelösten Druckmesssignal erfasst, um Fehlfunktionen der Messkette 16, 17 und der Hochdruckpumpe 12 zu erkennen. Charakteristische Verlaufsformen dieses Druckmesssignals bei verschiedenen Betriebszuständen der Einspritzanlage sind in den **Fig. 2, 3, und 4** gezeigt.

Die **Fig. 2** zeigt in zeitlich hoher Auflösung die Schwankungen des Druckmesssignals bei laufender Einspritzung. Bei einem vierzylindrischen Viertakt-Dieselmotor gibt es jeweils 2 Einspritzvorgänge pro Umdrehung der Kurbelwelle. Bei jeder Einspritzung fällt der Speicherdruck um relativ kleines Maß steil ab, um dann etwas allmählicher wieder anzusteigen, gemäß der Förderleistung der Hochdruckpumpe 12. Das Druckmesssignal schwankt somit periodisch zwischen einem Maximalwert und einem Minimalwert. Bei einer Motordrehzahl (Kurbelwellendrehzahl) von z. B. 1000 U/min ist die Periode TE der einspritzbedingten Schwankungen des Druckmesssignals gleich 30 ms. Diesem speziellen Fall entspricht die Darstellung in **Fig. 2** (die in dieser Figur ebenfalls zu erkennende höherfrequente Welligkeit wird durch systembedingte hydrodynamische Schwingungen hervorgerufen und ist vernachlässigbar).

Die Schwankungsbreite ist klein im Vergleich zum Absolutwert des Speicherdrucks, typischerweise beträgt sie etwa 3% des Speicherdruck-Sollwertes, also etwa 30 bis 70 bar im Falle eines Solldrucks von 1500 bis 1800 bar. Ist die

Messkette 16, 17 z. B. so geeicht, dass dieser Solldruck mit 4 Volt im Druckmesssignal angezeigt wird, dann beträgt die Schwankungsbreite etwa 120 mV, genauer gesagt zwischen +40 mV und -80 mV gegenüber dem Sollwert von 4 V. Die Ordinatenskala in Fig. 2 entspricht diesem Eichungsbeispiel.

Den in Fig. 2 gezeigten Schwankungen mit der Periode TE überlagern sich noch Schwankungen mit einer (meist etwas längeren) Periode, die von den Kolbenhüben der Hochdruckpumpe 12 herrühren. Auf diese pumpenbedingten Schwankungen wird weiter unten noch näher eingegangen.

Da bekannt ist, welches Muster die Schwankungen im störungsfreien Betrieb der Einspritzanlage haben, lassen sich Funktionsstörungen anhand von Abweichungen des tatsächlichen Musters gegenüber dem bekannten Muster detektieren. Somit sieht die Erfindung vor, eine Fehlermeldung zu geben, wenn sich eine deutliche Abweichung zeigt.

Wenn die Schwankungen im Druckmesssignal ausbleiben oder die Schwankungsbreite merklich unter das normale Maß absinkt, ist auf einen Fehler zu schließen, z. B. auf eine Störung des Sensors 16 oder des Messumformers 17. Um dies zu erkennen, wird das Druckmesssignal über ein Intervall beobachtet, das mindestens gleich der Periodendauer TE der im Normalfall zu erwartenden einspritzbedingten Schwankungen ist, um die Maximal- und Minimalwerte des Signals festzustellen und die Differenz zwischen ihnen zu ermitteln. Liegt diese Differenz deutlich unterhalb des sich im störungsfreien Betrieb zeigenden Bereichs, wird eine Fehlermeldung abgegeben. Der betreffende Schwellenwert kann empirisch bestimmt werden, wobei auch die von der Hochdruckpumpe herrührenden Schwankungen zu berücksichtigen sind, die jedoch meist weniger stark sind.

Vorzugsweise erfolgt diese Beobachtung und Auswertung laufend in zyklischer Weise, synchronisiert mit der Kurbelwellendrehung, so dass sich zwangsläufig auch eine Synchronisierung mit dem Einspritztakt ergibt. Wählt man gleichzeitig das Beobachtungsintervall gleich der Taktperiode TE der aufeinanderfolgenden Einspritzungen, dann fällt auf jedes Intervall ein Segment des Druckmesssignals, welches ein Minimum und ein Maximum der einspritzbedingten Schwankungen enthält.

Die vorstehend beschriebene Synchronisierung und Intervallbemessung erlaubt es auch, Unregelmäßigkeiten im Betrieb der Injektoren zu erkennen. Weichen die in den einzelnen Beobachtungsintervallen (Segmenten) ermittelten Maximum-Minimum-Differenzen sehr stark voneinander ab, dann arbeiten die Injektoren ungleich. Falls diese Abweichung ein tolerierbares Maß übersteigt, kann ebenfalls eine Fehlermeldung gegeben werden.

Anhand von Schwankungen im Druckmesssignal können auch Unzulänglichkeiten der Hochdruckpumpe 12 detektiert werden. Die Kolbenhübe dieser Pumpe führen ebenfalls zu periodischen Ausschlägen des Druckmesssignals, die sich am besten in einem Betrieb ohne stattfindende Einspritzung beobachten lassen. Idealerweise sind die Fördervolumina der einzelnen Kolben identisch. In diesem Fall hat das zeitlich hochauflöste Druckmesssignal den in Fig. 3 gezeigten Verlauf.

In Fig. 3 haben die aufeinanderfolgenden periodischen Ausschläge des Druckmesssignals gleiche Gestalt und Amplitude. Die Periodendauer TP errechnet sich aus der Pumpendrehzahl und der Anzahl der Zylinder (bzw. Kolben) in der Pumpe. Im Falle einer dreizylindrischen Pumpe, die von der Kurbelwelle des Motors über eine Untersetzung von 1 : 2 angetrieben wird (ein typisches Beispiel), ist also die Periodendauer TP der Schwankungen im Druckmesssignal gleich dem 2/3 der Umlaufdauer der Kurbelwelle. Bei einer Kurbelwellendrehzahl gemäß dem obigen Beispiel

(1000 U/min) haben die pumpenbedingten Schwankungen des Druckmesssignals also eine Periode TP von 40 ms. Diesem speziellen Fall entspricht die Fig. 3. Die oberhalb des Signalverlaufs eingetragenen Zahlen 1, 2, 3 bezeichnen die einzelnen Kolben, dessen Hub für den betreffenden Signalschlag verantwortlich ist.

Die nominelle Amplitudenweite AP der pumpenbedingten Schwankungen gemäß Fig. 3 ist meist wesentlich kleiner als die Amplitudenweite der einspritzbedingten Schwankungen gemäß Fig. 2. Bei dem in Fig. 3 dargestellten Beispiel beträgt sie etwa 30 mV.

Durch Fertigungstoleranzen und Alterungserscheinungen an der Pumpe, u. a. an Dichtelementen, kann die Gleichförmigkeit der Fördervolumina beeinträchtigt werden. Wenn z. B. die Füllung eines der Pumpenzylinder in der Saugphase deutlich geringer ausfällt als die der übrigen Zylinder, so wird der betreffende Kolben in der Kompressionsphase den Kraftstoffdruck deutlich später und weniger ausgeprägt anheben, wie dies für den Kolben 2 in der Fig. 4 gezeigt ist.

20 Dies kann zur Diagnose der Pumpe genutzt werden.

Für die Diagnose kann eine Synchronisierung aufeinanderfolgender Beobachtungsintervalle auf die einzelnen Pumpenhübe erfolgen, vorzugsweise derart, dass jedes Beobachtungsintervall ein dem betreffenden Kolben zugeordnetes Segment des Druckmesssignals beinhaltet. Die Signalsegmente können miteinander verglichen werden, um im Falle einer deutlichen Abweichung eine Fehlermeldung zu geben.

Zur Fehlerdiagnose kann auch die Zeit zwischen aufeinanderfolgenden Minima des Druckmesssignals oder die Änderungsamplitude des Druckmesssignals für jeden einzelnen Kolbenhub ermittelt werden. Beide Größen weichen im Falle der Fig. 4 beim Kolben 2 von den nominellen Werten TP bzw. AP ab. Parallel können andere charakteristische Größen wie z. B. die Zeit zwischen zwei Maxima oder zwischen einem Maximum und dem darauffolgenden Minimum, die Zeit zwischen zwei Durchgängen durch einen Referenzwert, der Signalgradient der Schwankungen u. ä. ermittelt werden. Jede Kenngröße der pumpenbedingten periodischen Schwankungen des Druckmesssignals, die signifikant von einer vorhandenen Ungleichförmigkeit der Pumpenförderung beeinflusst wird, kann zur Fehlerdiagnose ausgewertet werden.

Die Auswertung kann durch gegenseitigen Vergleich der betreffenden Kenngrößen aus den aufeinanderfolgenden Perioden des Druckmesssignals erfolgen. Zeigt dieser Vergleich deutliche Unterschiede von Periode zu Periode, dann wird eine Fehlermeldung gegeben. Statt einer isolierten Kenngröße kann auch die gesamte Verlaufsform des Druck-

50 messsignals innerhalb der jeweiligen Periode zum Vergleich herangezogen werden. Eine entsprechende Methode kann darin bestehen, das Integral der absoluten Differenz zweier aufeinanderfolgender Segmente des Druckmesssignals zu bilden. Bei digitaler Abtastung des Druckmesssignals können zu diesem Zweck sämtliche Abtastwerte von Anfang bis Ende einer Periode gespeichert und von den entsprechenden Abtastwerten der nächsten Periode zu subtrahiert werden, worauf die Absolutwerte der Differenzen summiert werden. Diese Summe ist umso größer, je ausgeprägter der Unterschied des Verlaufs des Druckmesssignals von Periode zu Periode ist. Übersteigt sie einen vorgewählten Schwellenwert, wird eine Fehlermeldung gegeben.

Die vorstehend beschriebenen vergleichenden Auswertungen können übrigens in entsprechender Weise auch an dem Druckmesssignal nach Fig. 2 erfolgen, um Unregelmäßigkeiten an den Injektoren durch Abgabe einer Fehlermeldung zu detektieren.

Die Auswertung der pumpenbedingten Signalschwan-

kungen können aber auch erfolgen durch Vergleich der erwähnten Kenngrößen mit jeweils einem zugeordneten Schwellenwert. Das heißt, wenn die jeweilige Kenngröße um mehr als ein tolerierbares Maß von einem nominalen Wert abweicht, wird eine Fehlermeldung gegeben. Dies hat den Vorteil, dass eine Fehlermeldung auch dann erscheint, wenn die betreffenden Kenngrößen von Periode zu Periode zwar gleich bleiben und demnach ein gleichmäßiger Betrieb der Pumpe 12 gegeben ist, andererseits aber insgesamt derart stark vom Nominalwert abweichen, dass auf ein Nachlassen der Förderleistung der Pumpe insgesamt geschlossen werden muss.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Erkennen von Fehlfunktionen im Drucksystem einer an einem Verbrennungsmotor zu verwendenden Kraftstoff-Einspritzanlage, die einen aus einer Hochdruckpumpe (12) gespeisten Hochdruckspeicher (14) mit Auslässen (15) zur Versorgung mehrerer Kraftstoffinjektoren und einen den Speicherdruck regelnden Regelkreis (16–22) mit einer Messeinrichtung (16, 17) enthält, die ein für den Istwert des Speicherdruckes repräsentatives Druckmesssignal liefert, wobei das Druckmesssignal für Beobachtungs-  
zwecke mit einer zeitlichen Auflösung registriert wird, welche die periodischen Druckschwankungen abbildet, die sich durch das periodische Betätigen der Injektoren und/oder durch aufeinanderfolgende Kolbenhübe der Hochdruckpumpe (12) ergeben, und wobei eine Fehlermeldung gegeben wird, wenn die Periodizität des so registrierten Druckmesssignals hinsichtlich der Amplitude und/oder Gleichförmigkeit der Schwankungen deutlich von dem Muster abweicht, das bei fehlerfreiem Betrieb des Systems zu erwarten ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass zusätzlich ermittelt wird, wie groß die Differenz zwischen dem maximalen und dem minimalen Wert des Druckmesssignals innerhalb eines oder mehrerer Beobachtungsintervalle ist, und eine Fehlermeldung gegeben wird, wenn die ermittelte Differenz deutlich kleiner ist als die sich bei fehlerfreiem Betrieb ergebende Differenz.  
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Registrierung des Druckmesssignals periodisch in aufeinanderfolgenden Beobachtungsintervallen erfolgt, deren jedes zumindest eine volle Periode der im fehlerfreien Betrieb des Systems auftretenden periodischen Schwankungen dieses Signals umfasst.  
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet,  
dass das Drucksystem unter Betätigung der Injektoren betrieben wird  
und dass die Dauer des Beobachtungsintervalls mindestens gleich der Periode des Taktes aufeinanderfolgender Einspritzvorgänge ist.  
4. Verfahren nach Anspruch 2, wobei die Einspritzanlage m Kraftstoffinjektoren enthält, dadurch gekennzeichnet, dass zur Diagnose der Injektoren
  - das Drucksystem unter Betätigung der Injektoren betrieben wird,
  - die Dauer jedes Beobachtungsintervalls gleich der Periode des Taktes aufeinanderfolgender Einspritzvorgänge ist,
  - die Registrierung des Druckmesssignals über mindestens m aufeinanderfolgende Beobachtungsintervalle erfolgt, unter derartiger Synchronisierung mit der Injektorbetätigung, dass jedes Beobachtungsintervall ein dem betreffenden In-

jektor zugeordnetes Segment des Druckmesssignals beinhaltet,

– eine Fehlermeldung gegeben wird, wenn im Druckmesssignal eine über ein tolerierbares Maß hinausgehende Abweichung zwischen aufeinanderfolgenden Segmenten gefühlt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Hochdruckpumpe (12) eine Kolbenpumpe mit n Kolben ist, dadurch gekennzeichnet, dass zur Diagnose der Hochdruckpumpe (12) das Drucksystem ohne Betätigung der Injektoren betrieben wird und die Dauer jedes Beobachtungsintervalls mindestens gleich der Periode des Taktes aufeinanderfolgender Kolbenhübe der Hochdruckpumpe (12) ist.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Dauer jedes Beobachtungsintervalls gleich der Periode des Taktes aufeinanderfolgender Kolbenhübe der Hochdruckpumpe (12) ist, und dass die Registrierung des Druckmesssignals über mindestens n aufeinanderfolgende Beobachtungsintervalle erfolgt.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Registrierung des Druckmesssignals unter derartiger Synchronisierung mit dem Lauf der Hochdruckpumpe (12) erfolgt, dass jedes Beobachtungsintervall ein dem betreffenden Kolben zugeordnetes Segment des Druckmesssignals beinhaltet, und dass die Segmente miteinander verglichen werden und dass eine Fehlermeldung gegeben wird, wenn im Druckmesssignal eine über ein tolerierbares Maß hinausgehende Abweichung zwischen aufeinanderfolgenden Segmenten gefühlt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass eine Fehlermeldung gegeben wird, wenn in mindestens einem Beobachtungsintervall eine ausgewählte Kenngröße der Schwankung des Druckmesssignals um mehr als ein tolerierbares Maß von ihrem nominalen Wert abweicht.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die ausgewählte Kenngröße der Zeitabstand zwischen aufeinanderfolgenden Minima oder Maxima des Druckmesssignals und/oder der Zeitabstand zwischen einem Minimum und dem darauffolgenden Maximum des Druckmesssignals und/oder die Zeit zwischen aufeinanderfolgenden Durchgängen des Druckmesssignals durch einen Schwellenwert und/oder der Gradient der Schwankungen des Druckmesssignals und/oder die Änderungsamplitude des Druckmesssignals ist.

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

FIG 1

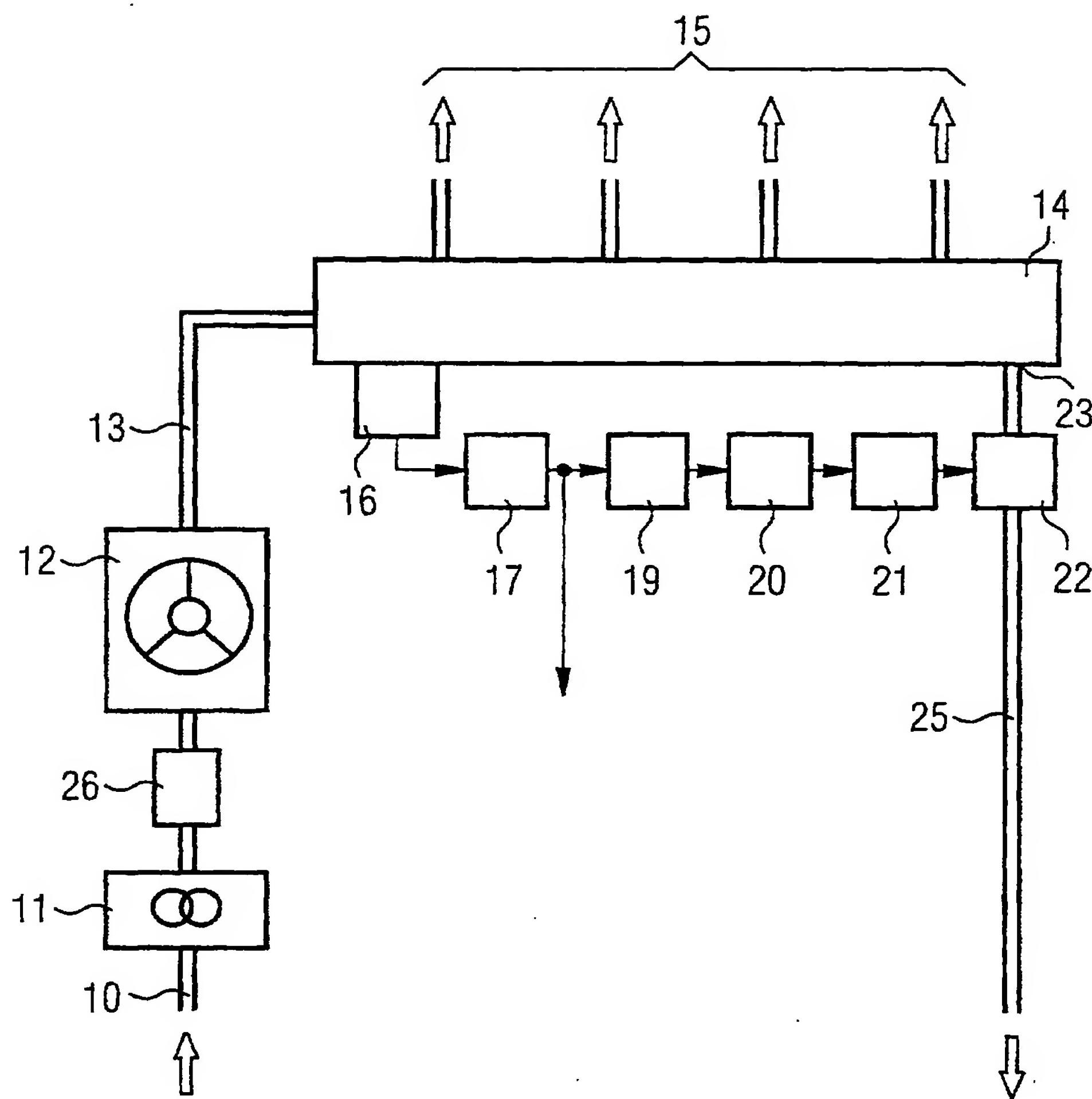
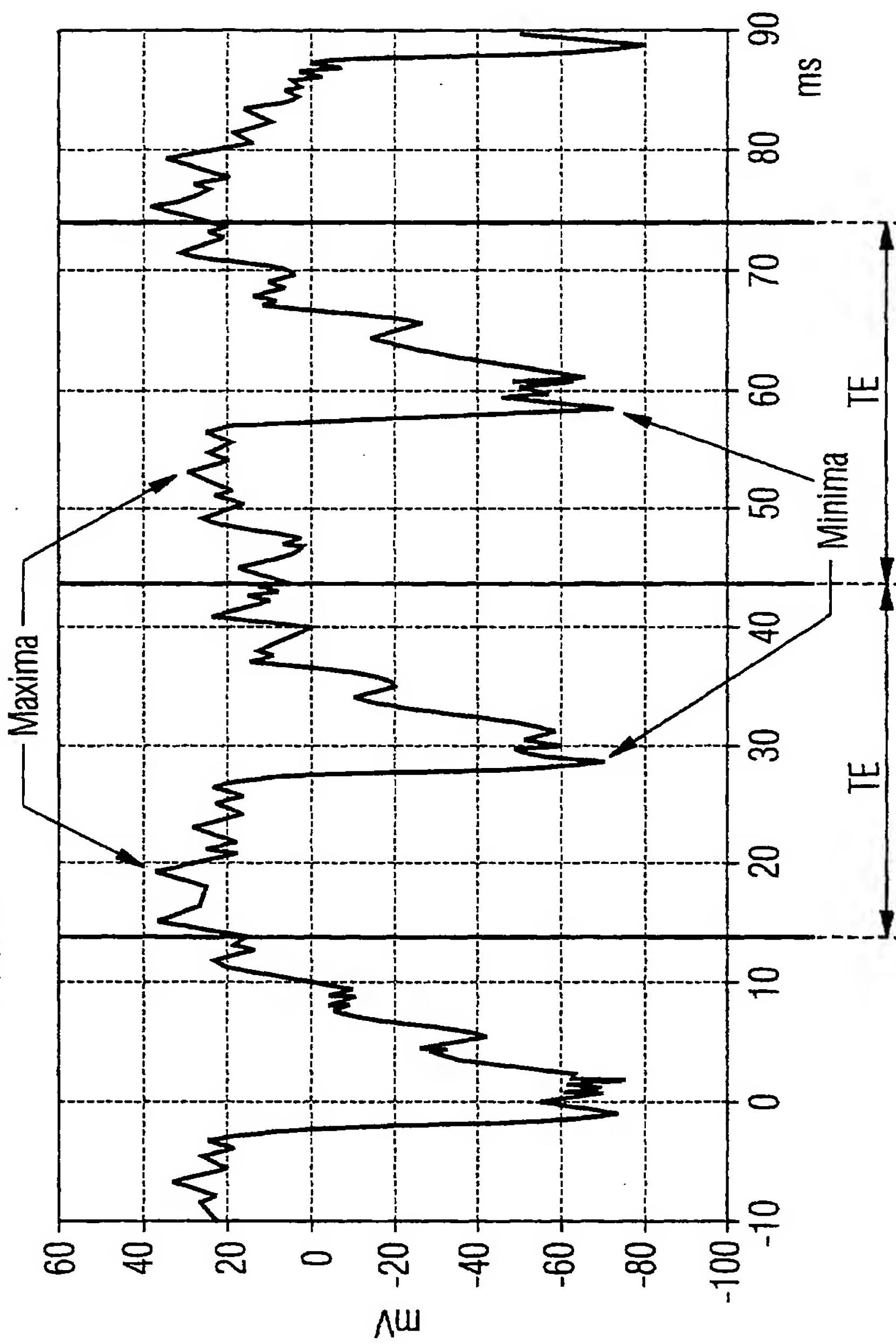
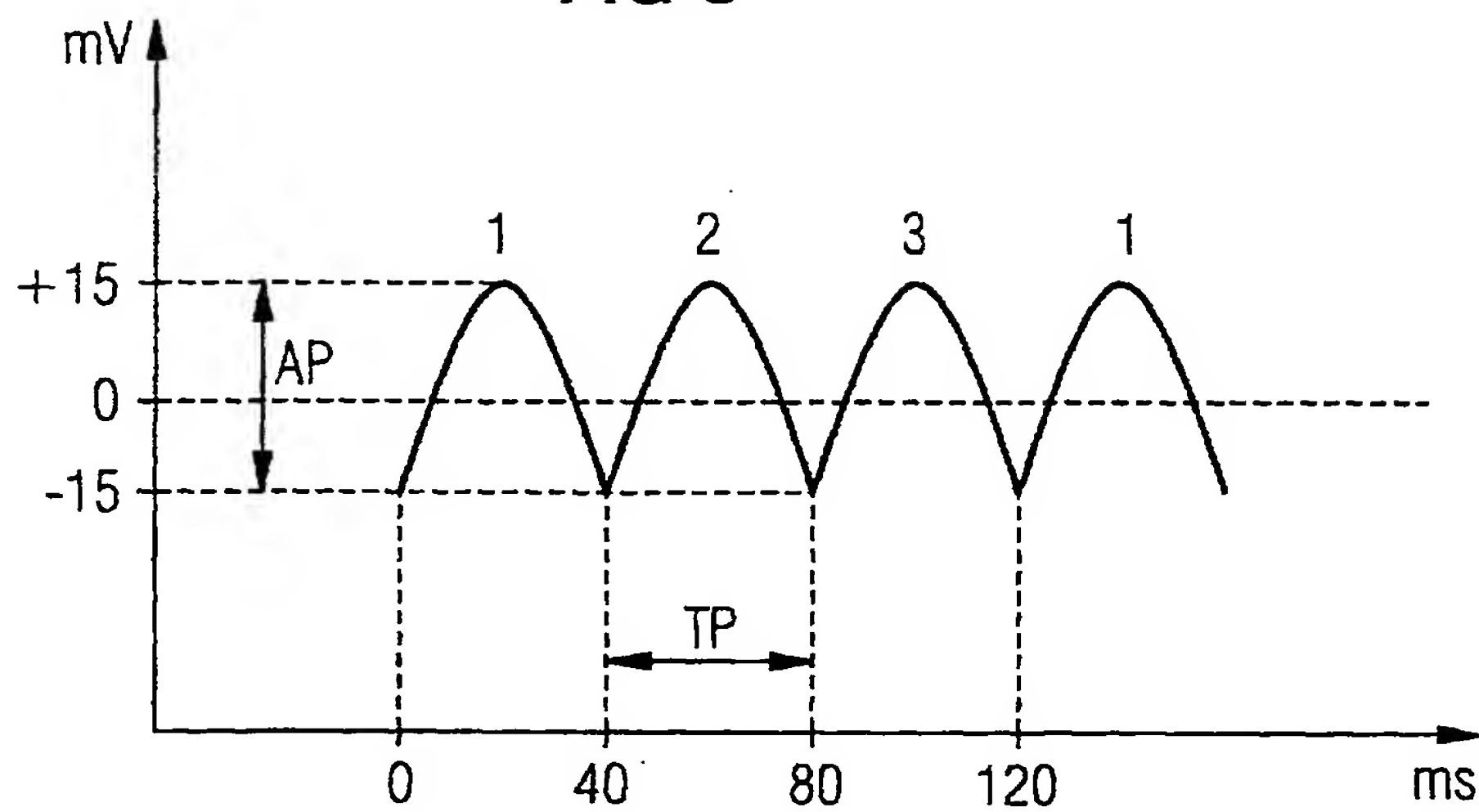


FIG 2



**FIG 3****FIG 4**